NOOVLE S.P.A
Via Gaetano Negri, 1, 20123 Milano

SCIA in alternativa a PdC_ art. 23, comma 1, lett a) DPR 380/2001 di ristrutturazione in variante a SCIA art. 22 comma 1, lett a) di manutenzione straordinaria

rif.: prot. 3994 del 31.05.2021

Realizzazione di Data Center in edificio produttivo
Sito in via Ticino, 66
20010 Santo Stefano Ticino –MI-

Documento:
Relazione di invarianza idraulica e idrologica

Data
28 Giugno 2021

Il Tecnico
Laura Politanò
ambiente s.p.a.

Politano' Laura
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Milano
Ingegnere
02.08.2024
13:40:26
GMT+01:00

COMMITTENTE:	PROGETTO:
Lombardini 22 S.p.A. *Via Lombardini, 22* **20143 Milano (MI)**	**Realizzazione di Data Center in edificio produttivo sito in via Ticino, 66 - 20010 S.Stefano Ticino (MI)** ***SCIA in alternativa a PdC – art-23, comma 1, lett a) DPR 380/2001 interventi di ristrutturazione in variante a SCIA art. 22 comma 1, lett.a) di manutenzione straordinaria - rif. prot. 3994 del 31/05/2021***

Relazione di invarianza idraulica e idrologica ai sensi del r.r.23 novembre 2017, n.7 e s.m.i.

BON.2018.CLI.177	*24 Giugno 2021*	*Prima emissione*	*L.Politanò*	*L. Pessina*	*P. Mauri*
COMMESSA	*DATA*	*REV*	*REDATTO*	*VERIFICATO*	*APPROVATO*

ambiente s.p.a.
consulenza & ingegneria
esperienza per l'ambiente

Sede di Milano
via Paullo 11 – 20135 Milano
Tel. 0245473370
Fax. 0245473371

Web page: www.ambientesc.it

Altre sedi principali
Carrara (sede legale e operativa) Via Frassina, 21 - 54033 Carrara (MS) - Tel. 0585/855624 - Fax. 0585/855617
Firenze Via di Soffiano, 15 - 50143 Firenze (FI) - Tel. 055/7399056 - Fax 055/7134442
Roma Via L. Robecchi Brichetti, 6 - 00154 Roma (RM) - Tel. 06/45678571
Taranto Via Matera, km 598/I - 74014 Laterza (TA) - Mob. 347/1083531

Premessa

Con il presente documento, ***Ambiente spa*** ha eseguito il mandato affidatole da Lombardini 22 con la diligenza richiesta.

Le elaborazioni ed i risultati illustrati nel presente documento, sono stati ottenuti ottemperando le normative vigenti e le regole riconosciute nel settore di operatività e sono basati sullo stato delle conoscenze all'atto di stesura del rapporto.

In riferimento a ciò Ambiente spa ha proceduto alla predisposizione della presente documentazione richiesta secondo le informazioni e le specifiche fornite dalla Committenza, la quale pertanto si assume ogni qualsivoglia responsabilità in ordine alla veridicità e correttezza delle stesse.

A tal fine, ***Ambiente spa*** considera che:

- il committente, o i terzi da lui designati, hanno fornito tutte le informazioni corrette ed i documenti completi per l'esecuzione del mandato;
- il presente documento non verrà utilizzato in modo parziale;
- le elaborazioni ed i risultati conseguiti presenti nel seguente documento non verranno utilizzati per uno scopo diverso da quello convenuto o per altro oggetto, né saranno trasposti a circostanze modificate, senza essere stati riesaminati;
- nel presente documento con il termine "Committente" si intende la società **Lombardini 22** che ha incaricato Ambiente spa per la redazione del presente documento.

SOMMARIO

1 INTRODUZIONE 1

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 2

3 BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO 2

4 INDIVIDUAZIONE DEL SITO 3

5 DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE ADOTTATA 5

6 CALCOLO DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO 7

6.1 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA 7

7 SCELTA DEL METODO DI CALCOLO 11

8 METODO DELLE SOLE PIOGGE – RICHIAMI TEORICI 12

8.1 ONDA ENTRANTE 12
8.2 ONDA USCENTE 12
8.2.1 Prove di Lefranc 12
8.3 VOLUME DI LAMINAZIONE E DEL TEMPO DI SVUOTAMENTO DELL'INVASO 13

9 DATI IN INPUT 15

9.1 BACINI SCOLANTI 15
9.2 BACINI INFILTRAZIONE 16
9.3 PROVE DI LEFRANC 17

10 CALCOLO DEI VOLUMI DI LAMINAZIONE E TEMPI DI SVUOTAMENTO DEGLI INVASI 19

10.1 BACINO IN4 19
10.2 BACINO IN5 20
10.3 BACINO IN7 22
10.4 BACINO IN8 24
10.5 BACINO IN9 25

INDICE FIGURE

Figura 1 - Inquadramento geografico (immagine satellitare Google Earth)..... 3
Figura 2 – Individuazione del mappale oggetto di SCIA 4
Figura 3 Schema di flusso 5
Figura 4 Individuazione del territorio comunale di Santo Stefano Ticino 7
Figura 5 Individuazione dell'area interessata dal progetto (ovale rosso) con associati parametri caratteristici delle LSPP 1-24 ore..... 8
Figura 6 Curve di possibilità pluviometrica per Tr=20 anni (sx), Tr=50 anni (centro) e Tr=100 anni (dx). 9
Figura 7 Individuazione con il metodo delle sole piogge dell'evento critico DW e del corrispondente volume critico W0 di laminazione, ovvero quello che massimizza il volume invasato. 14
Figura 8 Determinazione dell'evento critico DW e del corrispondente volume critico W0 di laminazione – Bacino IN4..... 20
Figura 9 Determinazione dell'evento critico DW e del corrispondente volume critico W0 di laminazione – Bacino IN5..... 21
Figura 10 Determinazione dell'evanto critico Dw e del corrispondente volume critico W0 di laminazione - Bacino IN7..... 23
Figura 11 Determinazione dell'evento critico DW e del corrispondente volume critico W0 di laminazione – Bacino IN8..... 25
Figura 12 Determinazione dell'evento critico DW e del corrispondente volume critico W0 di laminazione – Bacino IN9..... 26

INDICE TABELLE

Tabella 1 Parametri caratteristici delle LSPP 1 -24 ore per l'area di progetto..... 8
Tabella 2 Parametri "a" e "n" in funzione di tempo di ritorno (Tr) e durata di pioggia (D)..... 10
Tabella 3 Modalità di calcolo dei volumi da gestire in funzione di classe d'intervento ed ambito territoriale (criticità idraulica) 11
Tabella 4 Descrizione bacini scolanti..... 15
Tabella 5 Coefficienti di efflusso medi ponderali 16
Tabella 6 Dati geometrici dei bacini di infiltrazione..... 17
Tabella 7 Riassunto prove Lefranc..... 17
Tabella 8 - Prove Lefranc: risultati..... 18
Tabella 9 Riepilogo coefficienti per determinazione dell'onda entrante (Qe) e dell'onda uscente (Qu) – bacino di laminazione IN4 19
Tabella 10 Riepilogo coefficienti per determinazione dell'onda entrante (Qe) e dell'onda uscente (Qu) – bacino di laminazione IN5 21
Tabella 11 Riepilogo coefficienti per determinazione dell'onda entrante (Qe) e dell'onda uscente (Qu) – bacino di laminazione IN7 22
Tabella 12 Riepilogo coefficienti per determinazione dell'onda entrante (Qe) e dell'onda uscente (Qu) – bacino di laminazione IN8. 24

Tabella 13 Riepilogo coefficienti per determinazione dell'onda entrante (Qe) e dell'onda uscente (Qu) – bacino di infiltrazione Nord. 26

TAVOLE

TAV.1 – Planimetria della rete di drenaggio delle acque meteoriche e dei bacini di infiltrazione

ALLEGATI

ALL.1 – Fogli di calcolo per il dimensionamento dei bacini di infiltrazione

ALL.2 – Risultati prove Lefranc

1 INTRODUZIONE

Il presente documento, redatto su incarico di Lombardini 22, costituisce la relazione di invarianza idraulica e idrologica ai sensi del r.r.23 novembre 2017, n.7 e s.m.i. relativa agli interventi di riconversione a Data Center dell'area di via Ticino 64 a Santo Stefano Ticino (MI).

Il progetto della nuova rete di drenaggio delle acque meteoriche del sito è stato realizzato in considerazione di:

- Ottemperanza al regolamento regionale per il rispetto del principio di invarianza idraulica e idrologica (LR n.7/2017 e s.m.i.), in considerazione del fatto che il progetto di riqualificazione dell'area prevede la presenza di aree di nuova impermeabilizzazione;
- Nota di ATO prot. n. 3284 del 20/3/2019 emessa nell'ambito del procedimento di AUA relativo all'ex insediamento produttivo del sito (impresa Tessitura di Nosate S.p.A.), dove era indicata la richiesta di "*eliminare le portate meteoriche recapitate nella rete fognaria pubblica individuando per le stesse un recapito alternativo nel rispetto della normativa vigente*";
- Indicazioni ricevute dal Comune di S. Stefano in merito alla necessità di procedere ad un trattamento preliminare (disoleazione) delle acque di prima pioggia provenienti dai piazzali.

Il presente documento è stato articolato, con riferimento art. 10 comma 1 del Regolamento regionale 23 novembre 2017 - n. 7 "*Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)*", nelle seguenti sezioni:

- Descrizione della soluzione progettuale di invarianza idraulica e idrologica e delle corrispondenti opere di raccolta, convogliamento, invaso e infiltrazione e costituenti il sistema di drenaggio delle acque pluviali fino al punto terminale di scarico (bacini di infiltrazione);
- Calcolo delle precipitazioni di progetto;
- Scelta del metodo di calcolo;
- Descrizione del metodo di calcolo utilizzato;
- Presentazione dati di input utilizzati per calcoli e valutazioni;
- Calcolo dei volumi di laminazione nell'invaso e del tempo di svuotamento.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si elenca di seguito la normativa di riferimento per le attività descritte nel presente documento:

- D.Lgs n.152 del 03/04/2006 “Norme in materia ambientale” e ss.mm. ii..
- Regolamento regionale 23 novembre 2017 - n. 7 “Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell’articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)”,
- Aggiornamento del regolamento n. 7 del 2017 sull'invarianza idraulica e idrologica con il r.r. n. 7 del 29 giugno 2018,
- Aggiornamento del regolamento n. 7 del 2017 sull'invarianza idraulica e idrologica con il r.r. n. 8 del 19 aprile 2019,
- Aggiornamento del regolamento n. 7 del 2017 sull'invarianza idraulica e idrologica con l.r. 26 novembre 2019, n. 18, entrata in vigore il 11 dicembre 2019.

3 BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Si riporta di seguito la bibliografia consultata per la stesura del presente documento, fornita dalla Committenza:

- Documentazione progettuale relativa ai capannoni esistenti, utilizzata per la definizione dei bacini scolanti relativi alle coperture dei capannoni e l’individuazione dei relativi pluviali;
- Planimetria della rete fognaria esistente;
- Rilievo topografico dell’area;
- Studio delle oscillazioni del livello di falda – Nuovo stabilimento in S. Stefano Ticino, via Ticino (Studio Fontana, 2000).

4 INDIVIDUAZIONE DEL SITO

Il comparto oggetto della presente relazione è rappresentato dall'area "ex Tessiture di Nosate S.p.A.", ubicata nell'estremo settore occidentale del Comune di Santo Stefano Ticino (MI) ed il cui accesso si situa in Via Ticino n.66 (Figura 1), oggetto di riconversione a Data center.

Figura 1 - Inquadramento geografico (immagine satellitare Google Earth)

In particolare, la presente relazione di invarianza idraulica è redatta nell'ambito di un procedimento di SCIA intrapreso per una porzione dell'area dello stabilimento in oggetto (mappale 295), rappresentato nella figura seguente.

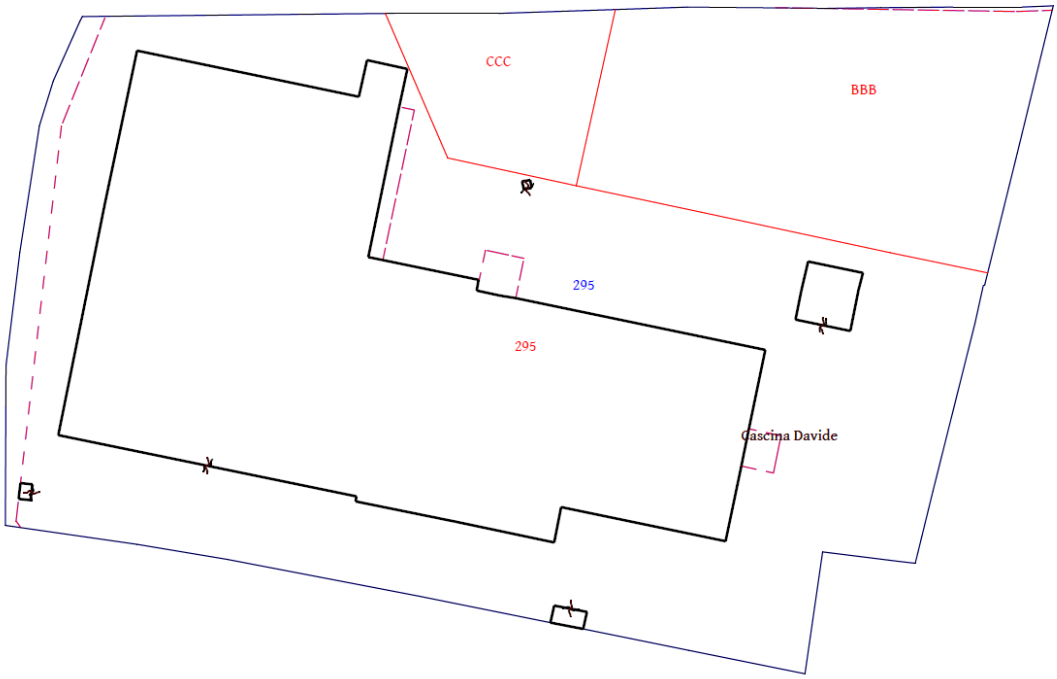


Figura 2 – Individuazione del mappale oggetto di SCIA

5 DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE ADOTTATA

Nella figura seguente si riporta lo schema di flusso della soluzione progettuale adottata per la gestione delle acque meteoriche del sito.

Al fine di predisporre una rete di drenaggio che operi esclusivamente per gravità (senza la necessità di stazioni di pompaggio per rilanci intermedi), che minimizzi quindi i costi di gestione e manutenzione dell'impianto, ed in considerazione dell'estensione delle superfici scolanti impermeabili e dei conseguenti volumi di pioggia da smaltire, si è deciso di invasare e infiltrare le acque meteoriche nelle aree verdi presenti nel sito, previo rimodellamento delle stesse mediante scavo e profilatura a profondità variabili.

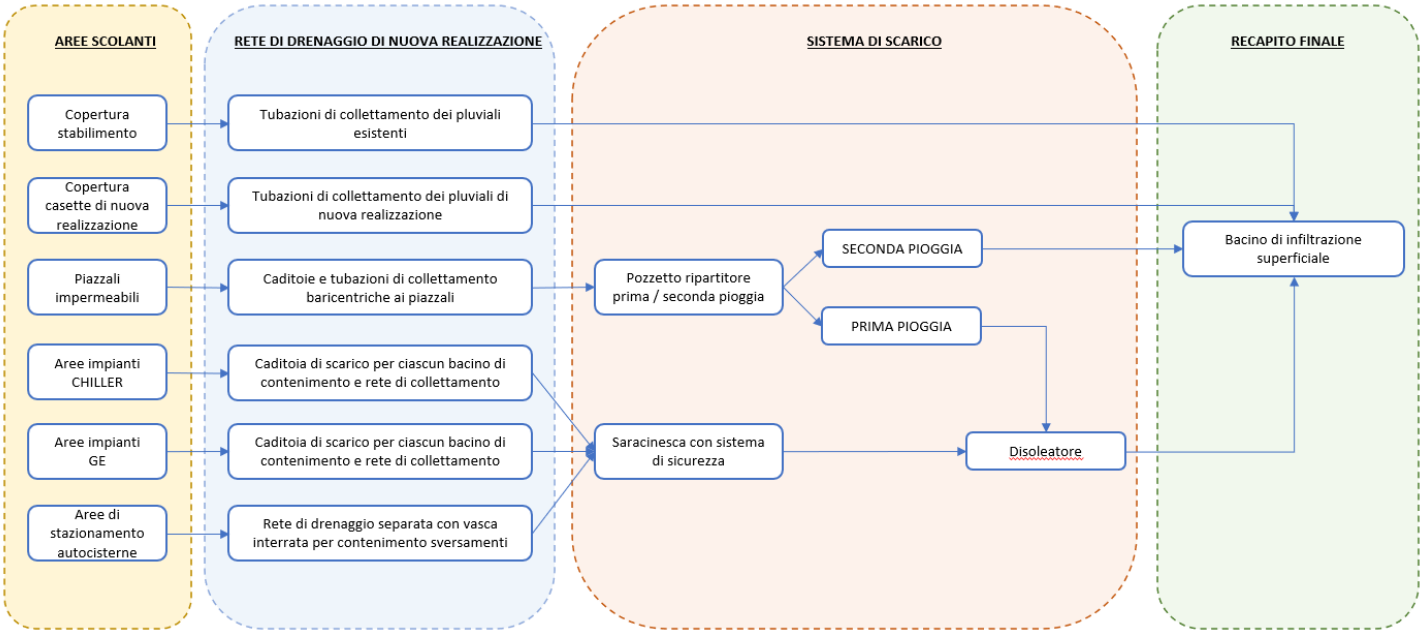

AREE SCOLANTI
RETE DI DRENAGGIO DI NUOVA REALIZZAZIONE
SISTEMA DI SCARICO
RECAPITO FINALE
Copertura stabilimento
Copertura casette di nuova realizzazione
Piazzali impermeabili
Aree impianti CHILLER
Aree impianti GE
Aree di stazionamento autocisterne
Tubazioni di collettamento dei pluviali esistenti
Tubazioni di collettamento dei pluviali di nuova realizzazione
Caditoie e tubazioni di collettamento baricentriche ai piazzali
Caditoia di scarico per ciascun bacino di contenimento e rete di collettamento
Caditoia di scarico per ciascun bacino di contenimento e rete di collettamento
Rete di drenaggio separata con vasca interrata per contenimento sversamenti
Pozzetto ripartitore prima / seconda pioggia
SECONDA PIOGGIA
PRIMA PIOGGIA
Saracinesca con sistema di sicurezza
Disoleatore
Bacino di infiltrazione superficiale

Figura 3 Schema di flusso

Con riferimento allo schema di flusso, sono state individuate diverse tipologie di aree scolanti che saranno dotate di una rete di drenaggio di nuova realizzazione. Tale rete recapiterà le acque meteoriche in uno dei bacini superficiali di ritenzione e infiltrazione individuati e predisposti all'interno del sito.

L'area oggetto dell'opera è stata suddivisa in n. 39 sub-aree afferenti a 5 diversi bacini di infiltrazione, rappresentati nelle planimetrie allegate. Di seguito si riporta un riepilogo delle diverse tipologie di aree scolanti individuate e delle relative reti di drenaggio di nuova realizzazione. Le lettere tra parentesi indicano le codifiche considerate nelle tavole e fogli di calcolo allegati.

- **Coperture dei capannoni (T)**: verranno mantenuti in essere i pluviali esistenti degli edifici, che saranno collettati mediante idonee tubazioni verso i bacini di infiltrazione;
- **Coperture dei locali tecnici di nuova realizzazione (C)**: i pluviali dei locali tecnici di nuova realizzazione scaricheranno direttamente nei bacini di infiltrazione mediante tubazioni di nuova realizzazione;
- **Piazzali impermeabili (P) e parcheggi in "green block" (GB)**: i piazzali saranno dotati di reti di drenaggio costituite da caditoie collettate da tubazioni interrate che scaricheranno nei bacini di infiltrazione previo trattamento di disoleazione delle acque di prima pioggia;

- **Aree impianti - chiller (CH)**: saranno predisposte delle reti di collettamento delle acque provenienti dai bacini di contenimento dei chiller, che recapiteranno nei bacini di infiltrazione previo trattamento di disoleazione. Le linee saranno dotate di sistema di interruzione di emergenza del flusso mediante saracinesca attivabile automaticamente con elettrovalvola in caso di incidente/sversamento, al fine del contenimento dei liquidi rilasciati;
- **Aree impianti – generatori elettrici (GE)**: analogamente ai chiller, saranno predisposte delle reti di collettamento delle acque provenienti dai bacini di contenimento dei generatori, che recapiteranno nei bacini di infiltrazione previo trattamento di disoleazione. Le linee saranno dotate di sistema di interruzione di emergenza del flusso mediante saracinesca attivabile automaticamente con elettrovalvola in caso di incidente/sversamento, al fine del contenimento dei liquidi rilasciati;
- **Aree stazionamento autocisterne (R)**: le aree di stazionamento delle autocisterne per lo scarico del carburante nei serbatoi interrati a servizio dei GE saranno costituite da piazzole ribassate con impermeabilizzazione con telo in HDPE, dotate di rete di drenaggio dedicata al fine del contenimento di sversamenti accidentali o rottura dell'autocisterna. L'installazione di un griglione carrabile permetterà di mettere in quota la piazzola con la viabilità circostante. La rete di drenaggio sarà costituita da una canalina grigliata baricentrica alla piazzola che recapita in una vasca interrata opportunamente dimensionata al fine di contenere l'intero carico dell'autocisterna e la cui linea di uscita potrà essere interrotta in caso di emergenza mediante saracinesca attivabile con elettrovalvola. La rete scaricherà nei bacini di infiltrazione previo trattamento di disoleazione.

Le aree a verde non saranno dotate di una rete di drenaggio dedicata, ma i relativi volumi di deflusso sono stati considerati ugualmente per la verifica idraulica dei bacini e delle reti di drenaggio.

La rete di drenaggio di nuova realizzazione sarà costituita da tubazioni interrate in PVC e canalette grigliate con pendenze del 3 o del 5 per mille. Per i dettagli dimensionali si rimanda alla planimetria allegata (Tavola 1), dove sono riportate le profondità di scorrimento dei nodi della rete normalizzati alla quota zero di progetto (149,7m s.l.m.).

Il recapito finale delle acque meteoriche sarà costituito da n.5 bacini di ritenzione e infiltrazione superficiali, che sono stati dimensionati considerando:

- La capacità di infiltrazione dei terreni desunta dalle indagini realizzate;
- I volumi di pioggia recapitati ai bacini di infiltrazione con tempo di ritorno 100 anni;
- Le profondità di scarico in corrispondenza dei bacini, determinata in funzione delle caratteristiche della rete di drenaggio delle aree scolanti;
- Il bilancio tra la pioggia entrante e il volume infiltrato, sulla cui base è stato determinato il volume di progetto dell'invaso e quindi l'altezza del tirante idrico.

In considerazione di quanto sopra sono state definite le profondità e le geometrie di scavo necessarie a garantire il volume di invaso minimo a soddisfare i requisiti di progetto.

Negli elaborati di progetto Tav.1 e Tav.2 sono riportate la planimetria del sistema di drenaggio e dei bacini di infiltrazione e la planimetria delle aree scolanti.

6 CALCOLO DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO

6.1 Curve di possibilità pluviometrica

I parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per la determinazione delle precipitazioni di progetto, validi per il sito in esame, sono stati individuati attraverso il "Portale Idrologico Geografico di ARPA Lombardia". Nel dettaglio, è stata individuata per l'area in esame la curva di possibilità pluviometrica espressa nella seguente forma:

$$h = a_1 \cdot w_T \cdot D^n$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k}\left\langle 1 - \left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right]^k \right\rangle$$

in cui:

h è l'altezza di pioggia;

D è la durata;

a_1 è il coefficiente pluviometrico orario;

w_T è il coefficiente probabilistico legato al tempo di ritorno T;

n è l'esponente della curva (parametro di scala);

α, ε, k sono i parametri delle leggi probabilistiche GEV adottate.

Viene di seguito descritta la procedura per la determinazione dei parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per il sito d'interesse articolata nei seguenti passaggi:

- individuazione del territorio comunale di Santo Stefano Ticino sul "Portale Idrologico Geografico di ARPA Lombardia" (Figura 4)

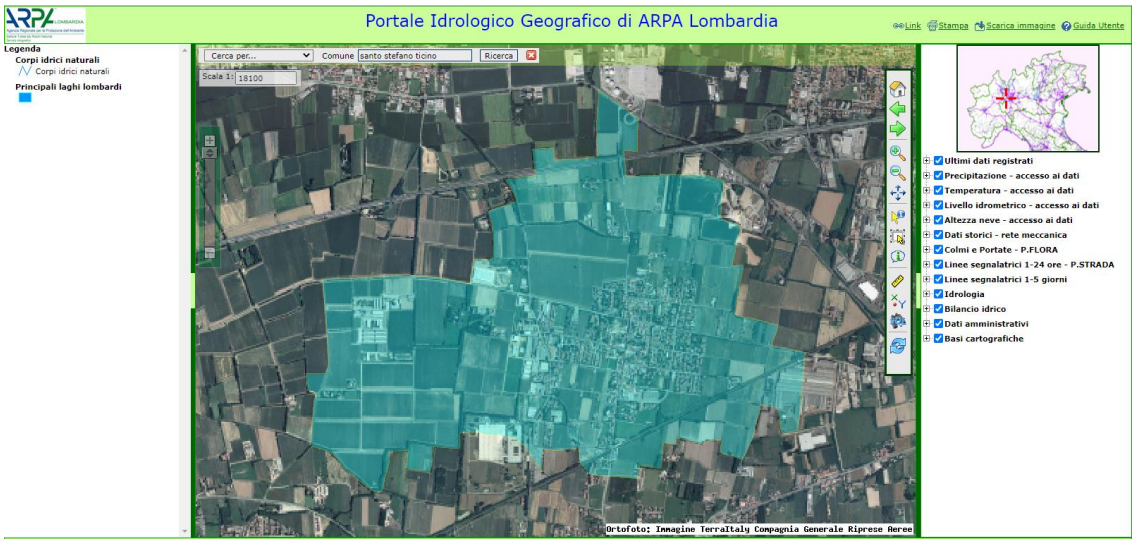


Figura 4 Individuazione del territorio comunale di Santo Stefano Ticino

- individuazione dell'area interessata dal progetto e dei relativi parametri caratteristici delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica per durate di pioggia 1-24 ore (LSPP 1-24 ore) (Figura 5);

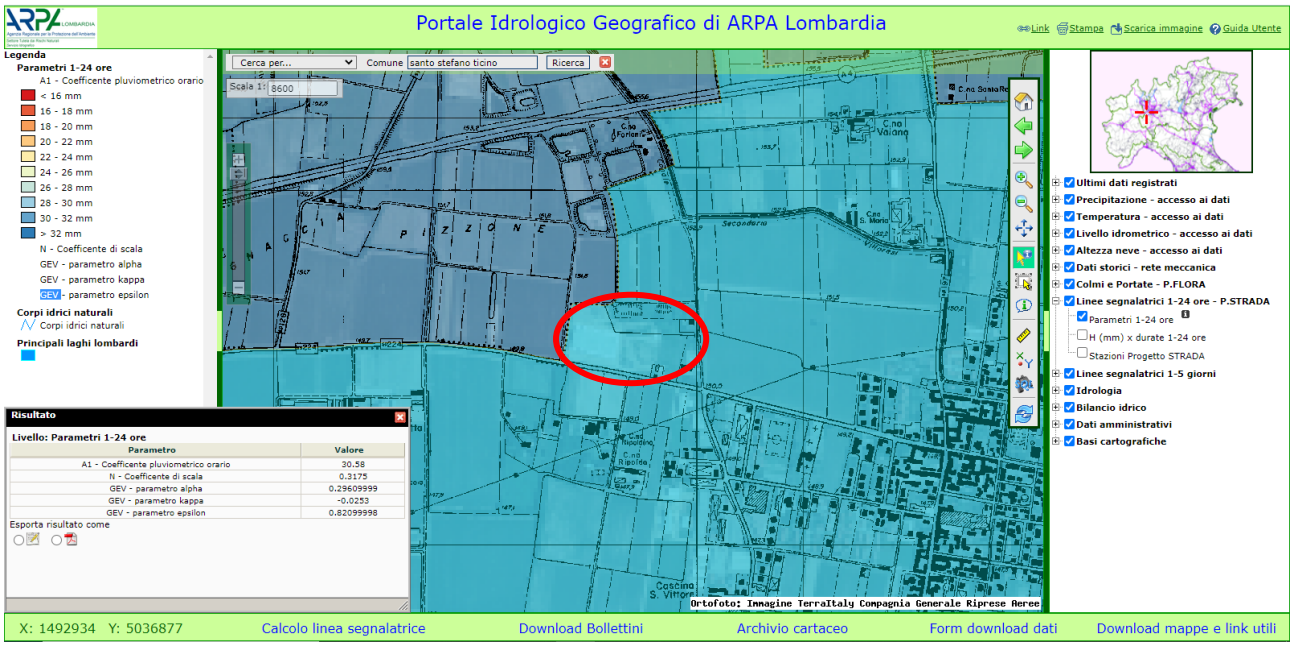


Figura 5 Individuazione dell'area interessata dal progetto (ovale rosso) con associati parametri caratteristici delle LSPP 1-24 ore.

In Tabella 1 viene riportato un prospetto riepilogativo dei parametri caratteristici delle LSPP 1-24 ore per l'area di progetto.

a1 (coefficiente pluviometrico orario)	n (1-24h) (Coefficiente di scala)	n (<1h) (coefficiente di scala)	α (GEV)	k (GEV)	ε (GEV)
30,58	0,3175	0,5	0,29609999	-0,0253	0,82099998

Tabella 1 Parametri caratteristici delle LSPP 1 -24 ore per l'area di progetto

Individuati i parametri caratteristici per il sito in esame, sono state successivamente determinate, attraverso l'applicativo proposto da ARPA Lombardia a cui si ha accesso dal "Portale Idrologico Geografico", le LSPP 1-24 ore per i tempi di ritorno adottabili per dimensionamento e verifica idraulica delle opere previste da progetto. In particolare, sono stati considerati i seguenti valori tempi di ritorno di riferimento per le opere idrauliche previste da progetto:

- Tr = 20 anni: tempo di ritorno adottato per dimensionamento e verifica idraulica della rete di drenaggio delle acque meteoriche fino al recapito nel bacino di infiltrazione;
- Tr = 50 anni: tempo di ritorno adottato per il dimensionamento delle opere di invarianza idraulica e idrologica (bacino di laminazione) al fine di ottenere un accettabile grado di sicurezza delle stesse;
- Tr = 100 anni: tempo di ritorno adottato per la verifica dei franchi di sicurezza delle opere di invarianza idraulica e idrologica (bacino di laminazione).

Si riporta nella figura seguente la procedura di determinazione delle curve di possibilità pluviometrica per Tr sopra elencati.

Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: .....
Coordinate: .....

Parametri ricavati da: http://idro.arpalombardia.it
A1 - Coefficente pluviometrico orario 30,58
N - Coefficente di scala 0,3175
GEV - parametro alpha 0,29609999
GEV - parametro kappa -0,0253
GEV - parametro epsilon 0,82099998

Linea segnalatrice
Tempo di ritorno (anni): 20

Evento pluviometrico
Durata dell'evento [ore]: 1
Precipitazione cumulata [mm]: 53

Formulazione analitica

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n \qquad w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k}\left\{1 - \left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right]^k\right\}$$

Bibliografia ARPA Lombardia:
http://idro.arpalombardia.it/manual/Ispp.pdf
http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf

Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

Tr	2	5	10	20	50	100	200	20
wT	0,93003	1,27367	1,50667	1,73436	2,03532	2,26553	2,49899	1,73436275
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 20 anni
1	28,4	38,9	46,1	53,0	62,2	69,3	76,4	53,0368129
2	35,4	48,5	57,4	66,1	77,6	86,3	95,2	66,0928443
3	40,3	55,2	65,3	75,2	88,2	98,2	108,3	75,1732656
4	44,2	60,5	71,5	82,4	96,7	107,6	118,7	82,3628688
5	47,4	64,9	76,8	88,4	103,8	115,5	127,4	88,4097972
6	50,2	68,8	81,4	93,7	109,9	122,4	135,0	93,6786105
7	52,8	72,2	85,5	98,4	115,4	128,5	141,7	98,3775598
8	55,0	75,4	89,2	102,6	120,4	134,1	147,9	102,638073
9	57,1	78,2	92,6	106,5	125,0	139,2	153,5	106,549009
10	59,1	80,9	95,7	110,2	129,3	143,9	158,7	110,173569
11	60,9	83,4	98,6	113,6	133,3	148,3	163,6	113,558487
12	62,6	85,7	101,4	116,7	137,0	152,5	168,2	116,739402
13	64,2	87,9	104,0	119,7	140,5	156,4	172,5	119,744185
14	65,7	90,0	106,5	122,6	143,9	160,1	176,6	122,595088
15	67,2	92,0	108,9	125,3	147,1	163,7	180,6	125,310191
16	68,6	93,9	111,1	127,9	150,1	167,1	184,3	127,904408
17	69,9	95,8	113,3	130,4	153,0	170,3	187,9	130,3902
18	71,2	97,5	115,3	132,8	155,8	173,4	191,3	132,778097
19	72,4	99,2	117,3	135,1	158,5	176,4	194,6	135,077087
20	73,6	100,8	119,3	137,3	161,1	179,3	197,8	137,294912
21	74,8	102,4	121,1	139,4	163,6	182,1	200,9	139,438289
22	75,9	103,9	122,9	141,5	166,1	184,9	203,9	141,513092
23	77,0	105,4	124,7	143,5	168,4	187,5	206,8	143,524488
24	78,0	106,8	126,4	145,5	170,7	190,0	209,6	145,477051

Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: .....
Coordinate: .....

Parametri ricavati da: http://idro.arpalombardia.it
A1 - Coefficente pluviometrico orario 30,58
N - Coefficente di scala 0,3175
GEV - parametro alpha 0,29609999
GEV - parametro kappa -0,0253
GEV - parametro epsilon 0,82099998

Linea segnalatrice
Tempo di ritorno (anni): 50

Evento pluviometrico
Durata dell'evento [ore]: 1
Precipitazione cumulata [mm]: 62

Formulazione analitica

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n \qquad w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k}\left\{1 - \left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right]^k\right\}$$

Bibliografia ARPA Lombardia:
http://idro.arpalombardia.it/manual/Ispp.pdf
http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf

Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

Tr	2	5	10	20	50	100	200	50
wT	0,93003	1,27367	1,50667	1,73436	2,03532	2,26553	2,49899	2,03531603
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 50 anni
1	28,4	38,9	46,1	53,0	62,2	69,3	76,4	62,2399642
2	35,4	48,5	57,4	66,1	77,6	86,3	95,2	77,5615282
3	40,3	55,2	65,3	75,2	88,2	98,2	108,3	88,2176191
4	44,2	60,5	71,5	82,4	96,7	107,6	118,7	96,6547899
5	47,4	64,9	76,8	88,4	103,8	115,5	127,4	103,751005
6	50,2	68,8	81,4	93,7	109,9	122,4	135,0	109,934082
7	52,8	72,2	85,5	98,4	115,4	128,5	141,7	115,448411
8	55,0	75,4	89,2	102,6	120,4	134,1	147,9	120,448225
9	57,1	78,2	92,6	106,5	125,0	139,2	153,5	125,037802
10	59,1	80,9	95,7	110,2	129,3	143,9	158,7	129,291309
11	60,9	83,4	98,6	113,6	133,3	148,3	163,6	133,263591
12	62,6	85,7	101,4	116,7	137,0	152,5	168,2	136,996471
13	64,2	87,9	104,0	119,7	140,5	156,4	172,5	140,522656
14	65,7	90,0	106,5	122,6	143,9	160,1	176,6	143,868258
15	67,2	92,0	108,9	125,3	147,1	163,7	180,6	147,054497
16	68,6	93,9	111,1	127,9	150,1	167,1	184,3	150,098872
17	69,9	95,8	113,3	130,4	153,0	170,3	187,9	153,016008
18	71,2	97,5	115,3	132,8	155,8	173,4	191,3	155,818261
19	72,4	99,2	117,3	135,1	158,5	176,4	194,6	158,516182
20	73,6	100,8	119,3	137,3	161,1	179,3	197,8	161,118852
21	74,8	102,4	121,1	139,4	163,6	182,1	200,9	163,634156
22	75,9	103,9	122,9	141,5	166,1	184,9	203,9	166,068986
23	77,0	105,4	124,7	143,5	168,4	187,5	206,8	168,429408
24	78,0	106,8	126,4	145,5	170,7	190,0	209,6	170,720787

Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: .....
Coordinate: .....

Parametri ricavati da: http://idro.arpalombardia.it
A1 - Coefficente pluviometrico orario 30,58
N - Coefficente di scala 0,3175
GEV - parametro alpha 0,29609999
GEV - parametro kappa -0,0253
GEV - parametro epsilon 0,82099998

Linea segnalatrice
Tempo di ritorno (anni): 100

Evento pluviometrico
Durata dell'evento [ore]: 1
Precipitazione cumulata [mm]: 69

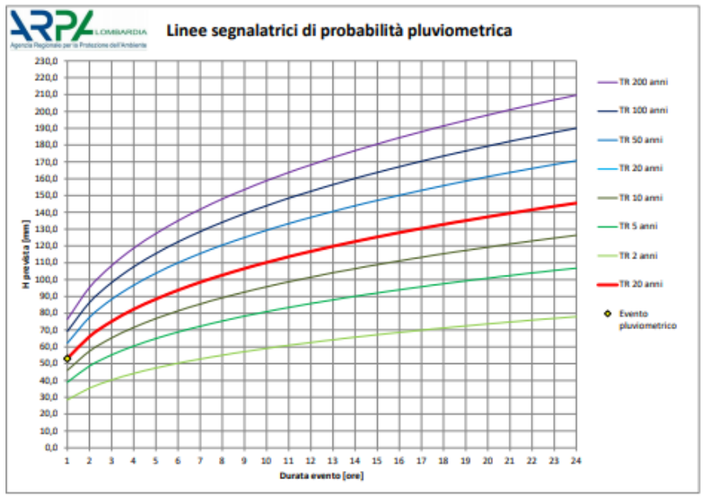
Formulazione analitica

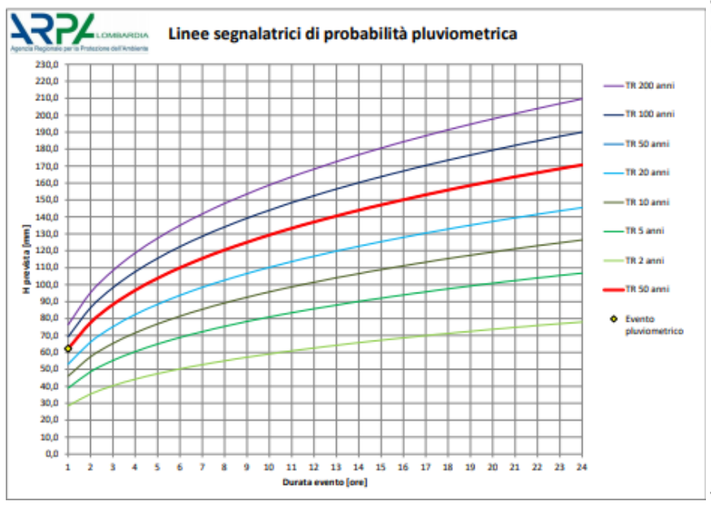
$$h_T(D) = a_1 w_T D^n \qquad w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k}\left\{1 - \left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right]^k\right\}$$

Bibliografia ARPA Lombardia:
http://idro.arpalombardia.it/manual/Ispp.pdf
http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf

Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

Tr	2	5	10	20	50	100	200	100
wT	0,93003	1,27367	1,50667	1,73436	2,03532	2,26553	2,49899	2,26553412
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 100 anni
1	28,4	38,9	46,1	53,0	62,2	69,3	76,4	69,2800333
2	35,4	48,5	57,4	66,1	77,6	86,3	95,2	86,3346457
3	40,3	55,2	65,3	75,2	88,2	98,2	108,3	98,1960653
4	44,2	60,5	71,5	82,4	96,7	107,6	118,7	107,587579
5	47,4	64,9	76,8	88,4	103,8	115,5	127,4	115,486459
6	50,2	68,8	81,4	93,7	109,9	122,4	135,0	122,368915
7	52,8	72,2	85,5	98,4	115,4	128,5	141,7	128,506979
8	55,0	75,4	89,2	102,6	120,4	134,1	147,9	134,07233
9	57,1	78,2	92,6	106,5	125,0	139,2	153,5	139,181042
10	59,1	80,9	95,7	110,2	129,3	143,9	158,7	143,915671
11	60,9	83,4	98,6	113,6	133,3	148,3	163,6	148,337264
12	62,6	85,7	101,4	116,7	137,0	152,5	168,2	152,492377
13	64,2	87,9	104,0	119,7	140,5	156,4	172,5	156,417414
14	65,7	90,0	106,5	122,6	143,9	160,1	176,6	160,141444
15	67,2	92,0	108,9	125,3	147,1	163,7	180,6	163,688083
16	68,6	93,9	111,1	127,9	150,1	167,1	184,3	167,076813
17	69,9	95,8	113,3	130,4	153,0	170,3	187,9	170,323911
18	71,2	97,5	115,3	132,8	155,8	173,4	191,3	173,443132
19	72,4	99,2	117,3	135,1	158,5	176,4	194,6	176,446219
20	73,6	100,8	119,3	137,3	161,1	179,3	197,8	179,343281
21	74,8	102,4	121,1	139,4	163,6	182,1	200,9	182,143096
22	75,9	103,9	122,9	141,5	166,1	184,9	203,9	184,853334
23	77,0	105,4	124,7	143,5	168,4	187,5	206,8	187,480747
24	78,0	106,8	126,4	145,5	170,7	190,0	209,6	190,031308





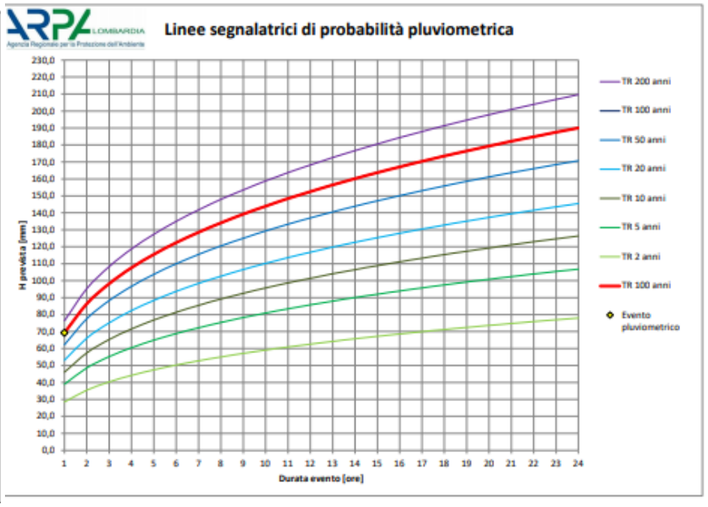


Figura 6 Curve di possibilità pluviometrica per Tr=20 anni (sx), Tr=50 anni (centro) e Tr=100 anni (dx).

Attraverso le curve di possibilità pluviometrica ricavate è stato possibile ricavare i relativi coefficienti "a" ed "n" in funzione del tempo di riorno e della durata di pioggia attraverso le seguenti relazioni:

$$a = a_1 \cdot w_T$$

in cui

a_1 è il coefficiente pluviometrico orario determinato;

w_T è il coefficiente probabilistico legato al tempo di ritorno T;

n è l'esponente della curva (parametro di scala);

Poiché i parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica determinati attraverso il portale di ARPA Lombardia si riferiscono a durate di pioggia maggiori dell'ora (1-24 ore), per le durate inferiori all'ora sono stati utilizzati tutti i parametri indicati da ARPA ad eccezione del parametro n per il quale si è adottato il valore n = 0,5 in aderenza agli standard suggeriti dalla letteratura tecnica idrologica.

Si riporta, nella tabella di seguito, il prospetto riepilogativo dei parametri "a" ed "n" utilizzati come dati di input per i calcoli idraulici delle opere previste da progetto.

	Tr=20 anni - D<1 ora (Dimensionamento e verifica idraulica rete di drenaggio acque meteoriche)	**Tr=50 anni - D≥1 ora (Dimensionamento bacino di laminazione)**	**Tr=100 anni - D≥1 ora (Verifica franco di sicurezza bacino di laminazione)**
a	53,037	62,240	69,280
n	0,3175	0,3175	0,3175

Tabella 2 Parametri "a" e "n" in funzione di tempo di ritorno (Tr) e durata di pioggia (D)

7 SCELTA DEL METODO DI CALCOLO

Ai fini dell'individuazione della modalità di calcolo del volume da gestire per il rispetto del principio di invarianza idraulica e idrologica, con riferimento all'art. 9 comma 3 del Regolamento regionale 23 novembre 2017, è stata effettuata una classificazione degli interventi di progetto secondo le classi d'intervento riportate nella tabella di seguito.

CLASSE DI INTERVENTO		SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIENTE DEFLUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITÀ DI CALCOLO AMBITI TERRITORIALI (articolo 7)	
				Aree A, B	Aree C
0	Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	≤ 0,03 ha (≤ 300 mq)	qualsiasi	Requisiti minimi articolo 12 comma 1	
1	Impermeabilizzazione potenziale bassa	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha (da > 300 mq a ≤ 1.000 mq)	≤ 0,4	Requisiti minimi articolo 12 comma 2	
2	Impermeabilizzazione potenziale media	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha (da > 300 a ≤ 1.000 mq)	> 0,4	Metodo delle sole piogge (vedi articolo 11 e allegato G)	Requisiti minimi articolo 12 comma 2
		da > 0,1 a ≤ 1 ha (da > 1.000 a ≤ 10.000 mq)	qualsiasi		
		da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	≤ 0,4		
3	Impermeabilizzazione potenziale alta	da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤100.000 mq)	> 0,4	Procedura dettagliata (vedi articolo 11 e allegato G)	
		> 10 ha (> 100.000 mq)	qualsiasi		

Tabella 3 Modalità di calcolo dei volumi da gestire in funzione di classe d'intervento ed ambito territoriale (criticità idraulica)

L'intervento in oggetto ricade nella classe di intervento "impermeabilizzazione potenziale media", in quanto l'area complessiva di nuova impermeabilizzazione è pari a 1700 mq (comprensive delle nuove aree impianti e dei locali tecnici di nuova realizzazione). Il comune di Santo Stefano Ticino ricade nelle aree B, ovvero a media criticità idraulica, e il coefficiente di deflusso medio ponderale dell'area è pari a 0,867. Per questi motivi ai fini del calcolo dei volumi di laminazione necessari, occorre adottare il Metodo delle Sole Piogge.

8 METODO DELLE SOLE PIOGGE – RICHIAMI TEORICI

8.1 Onda entrante

L'onda entrante dovuta alla precipitazione piovosa $Q_0(f)$ nell'invaso di laminazione è un'onda rettangolare avente durata D e portata costante Q_0 pari al prodotto dell'intensità media di pioggia, dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica valida per l'area oggetto di calcolo in funzione della durata di pioggia, per la superficie scolante impermeabile dell'intervento afferente all'invaso; con questa assunzione si ammette che, data la limitata estensione del bacino scolante, sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante afferente all'invaso. Conseguentemente l'onda entrante nell'invaso coincide con la precipitazione piovosa sulla superficie scolante impermeabile dell'intervento. La portata costante entrante (Q_e) e il volume di pioggia complessivamente entrante (W_e) sono pari a:

$$Q_e = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^{n-1} \qquad W_e = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^n$$

In cui:

- S è la superficie scolante del bacino complessivamente afferente all'invaso
- D è la durata di pioggia
- a = $a_1 w_T$ e n sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica (desunti da ARPA Lombardia)
- Φ è il coefficiente di deflusso medio ponderale del bacino.

8.2 Onda uscente

L'onda uscente $Q_u(t)$ è anch'essa un'onda rettangolare caratterizzata da una portata costante Qu,lim. La portata costante uscente e il volume complessivamente uscito nel corso della durata D dell'evento sono pari a:

$$Q_{u,lim} = \frac{k}{2} \cdot J \cdot A_f \qquad W_u = Q_{u,lim} \cdot D$$

in cui k è la permeabilità del terreno, J è la cadente piezometrica, A_f è l'area filtrante data dalla somma dell'area del fondo del bacino e dell'area delle pareti.

8.2.1 Prove di Lefranc

Il coefficiente di permeabilità (K) dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area di interesse è stato stimato attraverso l'esecuzione di **prove di permeabilità a carico variabile con metodo Lefranc.**

Tale metodo consiste nella misurazione della velocità di declino del livello d'acqua dopo aver indotto una variazione istantanea del livello iniziale, eseguendo le seguenti operazioni:

- perforazione fino alla quota scelta per la prova;
- sollevamento della tubazione di rivestimento fino al livello superiore dell'intervallo di prova, realizzando la sezione filtrante mediante l'immissione di materiale granulare;
- induzione di una variazione istantanea di livello, mediante l'immissione di acqua in foro fino ad un livello noto (testa pozzo);
- misura dell'abbassamento del livello dell'acqua in foro a diversi istanti (durata massima 30 minuti).

L'interpretazione delle prove permette la stima della permeabilità del tratto di terreno corrispondente all'intervallo di prova, mediante correlazioni tra la conducibilità idraulica e la velocità di recupero del dislivello.

La formula usata per il calcolo della permeabilità nelle prove a carico variabile tiene conto del coefficiente di forma della tasca filtrante, rapportando l'area filtrante al carico idraulico, secondo la seguente equazione:

$$K = \frac{A}{Cl \cdot (t_2 - t_1)} \cdot ln \frac{h_1}{h_2}$$

dove:

A (mq) = area di base del foro di sondaggio

h_1, h_2 (m) = altezza dei livelli dell'acqua nel foro rispetto al fondo foro nei tempi t_1 *e* t_2

Cl (m) = coefficiente di forma con valore di C = l per l > 2r (con r pari al raggio del foro e l corrispondente alla lunghezza del tratto investigato).

I risultati delle prove Lefranc realizzate presso il sito sono riportati al paragrafo 9.3.

8.3 Volume di laminazione e del tempo di svuotamento dell'invaso

Sulla base delle precedenti considerazioni, il volume di laminazione ΔW è dato, per ogni durata di pioggia D considerata, dalla differenza tra i volumi dell'onda entrante e dell'onda uscente calcolati al termine della durata di pioggia. Conseguentemente, il volume di dimensionamento della vasca è pari al volume critico di laminazione (W_0), cioè quello calcolato per l'evento di durata critica che rende massimo il volume di laminazione.

$$\Delta W = W_e - W_u = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^n - S \cdot u_{\lim} \cdot D$$

La figura seguente mostra graficamente la curva $W_e(D)$, concava verso l'asse delle ascisse, in aderenza alla curva di possibilità pluviometrica, e la retta $W_u(D)$ e indica come la distanza verticale ΔW tra tali due curve ammetta una condizione di massimo che individua così l'evento di durata D_W critica per la laminazione.

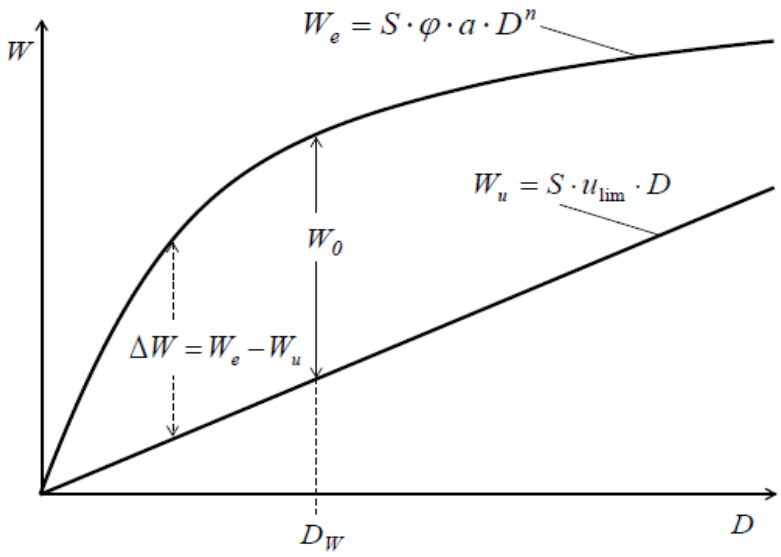


Figura 7 Individuazione con il metodo delle sole piogge dell'evento critico DW e del corrispondente volume critico W0 di laminazione, ovvero quello che massimizza il volume invasato.

Esprimendo matematicamente la condizione di massimo, ossia derivando rispetto alla durata D la differenza $\Delta W = W_e - W_u$, si ricava la durata critica D_w per l'invaso di laminazione e di conseguenza il volume W_0, che coincide con il volume minimo considerato per la progettazione dell'invaso:

$$D_w = \left(\frac{Q_{u,\lim}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}} \qquad W_0 = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D_w^{\,n} - Q_{u\max} \cdot D_w$$

In conformità all'art.11 comma 2 lettera "f" del regolamento, il sistema idraulico composto dal bacino di laminazione dimensionato con la procedura sopra descritta deve garantire lo svuotamento completo del bacino di laminazione in un intervallo temporale di massimo 48 ore.

9 DATI IN INPUT

9.1 Bacini scolanti

In riferimento alla planimetria allegata, si riporta di seguito una tabella contenente l'elenco dei bacini scolanti individuati con l'indicazione della relativa superficie (mq) e del bacino di infiltrazione di recapito.

Descrizione area scolante	Bacino	mq	Recapito	Descrizione area scolante	Bacino	mq	Recapito
Copertura stabilimento	T1est	1901	IN9	Area scarico carburante	R2	87	IN9
Copertura stabilimento	T1ovest	2089	IN9	Area scarico carburante	R3	87	IN9
Copertura stabilimento	T2est	3170	IN8	Area scarico carburante	R4	87	IN9
Copertura stabilimento	T2ovest	2718	IN7	Greenblock	GB1	987	IN5
Copertura stabilimento	T3	3531	IN5	Greenblock	GB2	216	IN8
Copertura stabilimento	T4Nord	2065	IN4	Greenblock	GB3	222	IN8
Copertura stabilimento	T4Sud	4205	IN4	Greenblock	GB4	125	IN8
Copertura nuove casette	C1	309	IN8	Area verde	AV 1 Est	384	IN5
Copertura nuove casette	C2	310	IN9	Area verde	AV 1 Ovest	497	IN5
Generatori elettrici	GE1nord	333	IN9	Area verde	AV 2	120	IN5
Generatori elettrici	GE1sud	222	IN9	Area verde	AV IN7	229	IN7
Chiller	CH1	525	IN9	Area verde	AV P1	339	IN4
Piazzale	P1	1352	IN4	Area verde	AV P4	274	IN4
Piazzale	P2	1018	IN4	Area verde	AV IN8	811	IN8
Piazzale	P3	1736	IN5	Area verde	AV P7	880	IN9
Piazzale	P4	624	IN8	Area verde	AV P3	296	IN5
Piazzale	P5	1109	IN9	Area verde	AV IN5	272	IN5
Piazzale	P6	1673	IN9	Area verde	AV IN9	218	IN9
Piazzale	P7	1562	IN9	Area verde	AV P2	90	IN4
Area scarico carburante	R1	87	IN9	Area verde	AV IN4	195	IN4

Tabella 4 Descrizione bacini scolanti

Con riferimento all'art. 11, comma 2 del Regolamento, per il calcolo della superficie scolante impermeabile S e per il calcolo del coefficiente di deflusso medio ponderale Φ si possono adottare i valori standard del coefficiente di deflusso:

- 1,0 per tutte le sub-aree interessate da tetti, coperture e pavimentazioni continue di strade, vialetti, parcheggi;
- 0,7 per tetti verdi, giardini pensili e le aree verdi sovrapposte a solette comunque costituite, per le aree destinate all'infiltrazione delle acque gestite ai sensi del Regolamento e per le pavimentazioni discontinue drenanti o semipermeabili di strade, vialetti, parcheggi;
- 0,3 per le aree permeabili di qualsiasi tipo, comprese le aree verdi munite di sistemi di raccolta e collettamento delle acque ed escludendo dal computo le superfici incolte e quelle di uso agricolo.

Di conseguenza, per le aree impermeabili si è considerato un coefficiente di deflusso pari a 1. Lo stesso coefficiente è stato utilizzato, cautelativamente, anche per le aree interne ai bacini di infiltrazione, mentre, per le aree di parcheggio in "green-block" si considera un coefficiente di deflusso pari a 0.7 e per le aree verdi un coefficiente di deflusso pari a 0.3.

Il coefficiente di deflusso medio ponderale Φ utilizzato per la stima della portata entrante nei singoli bacini di infiltrazione è dato dalla media dei coefficienti di deflusso delle singole superfici, pesata sulla loro area. Nella seguente tabella sono elencati i valori di Φ delle aree afferenti ai diversi bacini di infiltrazione:

Aree afferenti al bacino di infiltrazione:	Coefficiente di efflusso medio ponderale:
IN4	0,95
IN5	0,84
IN7	0,95
IN8	0,84
IN9	0.93

Tabella 5 Coefficienti di efflusso medi ponderali

9.2 Bacini infiltrazione

Come illustrato nella planimetria in allegato, sono stati previsti n.5 bacini di infiltrazione di nuova realizzazione, con uno scavo a tronco di piramide con pareti inclinate di 45° per i bacini IN5 IN7 e IN9 e inclinate di 55° per i bacini IN4 e IN8. Le scarpate saranno attrezzate con una geostuoia antierosione che permetta di assicurarne la stabilità. Nella tabella di seguito sono riportati i dati geometrici dei bacini, tra cui:

- *L'area in pianta*, cioè l'area della superficie del bacino alla quota di piano campagna (quota piazzale stabilimento);
- *L'altezza utile*, calcolata in base alla quota di arrivo delle tubature di scarico e alla quota di fondo del bacino;
- *La profondità del bacino* rispetto alla quota di piano campagna locale;
- *L'altezza drenante* pari all'altezza della porzione del volume del bacino, effettivamente occupata dall'acqua, da cui dipende quindi la superficie drenante del bacino.

		Bacini di infiltrazione				
		IN4	IN5	IN7	IN8	IN9
Area pianta	[mq]	680,00	629,00	448,00	623,95	896,46
Area fondo bacino	[mq]	335,70	297,00	114,05	338,32	624,32
Profondità bacino (da pc locale)	[m]	-2,35	-1,50	-1,80	-1,80	-2,25
Quota media p.c. attuale	[m s.l.m.]	149,70	148,80	149,83	149,60	149,60
Quota fondo bacino	[m s.l.m.]	147,35	147,30	148,03	147,80	147,35
Quota min scarichi	[m s.l.m.]	148,05	147,81	148,78	148,26	147,75
Altezza utile effettiva	[m]	0,70	0,51	0,75	0,46	0,40
Altezza drenante (TR100)	[m]	0,70	0,50	0,74	0,44	0,40
Cadente piezometrica		1,260	1,200	1,270	1,180	1,167

Tabella 6 Dati geometrici dei bacini di infiltrazione

Le quote di fondo dei bacini di infiltrazione sono state impostate tenendo in considerazione la quota della falda, anche in considerazione del fatto che nell'area è attivo un impianto di aggottamento della stessa per mantenerne il livello al di sotto della quota dei locali interrati dell'edificio (profondità circa -4m da quota piazzale).

9.3 Prove di Lefranc

Al fine di determinare il coefficiente di permeabilità (K) dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area di interesse si è proceduto all'esecuzione di **n. 4 prove di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile,** realizzate all'interno di fori di sondaggio ubicati all'interno del sito, come dettagliato nella seguente tabella.

Sondaggio	**Intervallo investigato (m da p.c.)**	**Materiale**
S-AMB-1	2.5-3.0	Insaturo
S-AMB-3	1.5-2.0	Insaturo
S-AMB-4	2.5-3.0	Insaturo
S-AMB-5	2.5-3.0	Insaturo

Tabella 7 Riassunto prove Lefranc

In Allegato 3 si riportano le schede interpretative delle prove condotte, mentre nella tabella seguente si riportano i risultati ottenuti.

Si specifica che nella prova eseguita nel foro di sondaggio S-AMB-4 non è stato possibile monitorare gli abbassamenti in quanto, a causa dell'elevata permeabilità, si è verificata un'infiltrazione pressoché istantanea che ha reso impossibile il riempimento del foro.

Sondaggio	Intervallo investigato (m da p.c.)	Materiale	Coefficiente di permeabilità (K) (m/s)
S-AMB-1	2.5-3.0	Insaturo	4.3×10^{-4}
S-AMB-3	1.5-2.0	Insaturo	4.7×10^{-3}
S-AMB-5	2.5-3.0	Insaturo	4.6×10^{-4}

Tabella 8 - Prove Lefranc: risultati

Cautelativamente, per il dimensionamento dei bacini di infiltrazione è stato considerato il valore di coefficiente di permeabilità minimo tra quelli determinati dalle indagini di campo.

Si sottolinea inoltre che, a fini cautelativi, la relazione utilizzata per il calcolo della portata di infiltrazione applica un fattore pari a 0,5 al coefficiente di permeabilità.

10 CALCOLO DEI VOLUMI DI LAMINAZIONE E TEMPI DI SVUOTAMENTO DEGLI INVASI

Con riferimento alla procedura di calcolo descritta nei capitoli precedenti, si illustra l'applicazione della procedura per il calcolo e verifica del volume d'invaso per i 5 bacini individuati; i calcoli verranno presentati per step successivi:

1. Determinazione dell'onda entrante Qe e dell'onda uscente Qu;
2. Determinazione dell'evento critico che massimizza il volume di laminazione;
3. Calcolo del tempo di svuotamento.

10.1 Bacino IN4

DETERMINAZIONE DELL'ONDA ENTRANTE Qe E DELL'ONDA USCENTE Qu

I parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per Tr pari a 50 e 100 anni, utilizzate per il calcolo del volume entrante sono:

- Tr = 50 anni: a = 62,240 mm/h n = 0,3175 (D> 1h) / 0,5 (D<1h)
- Tr = 100 anni: a = 69,280 mm/h n = 0,3175 (D> 1h) / 0,5 (D<1h)

Per la determinazione del volume uscente si considera una portata effluente dal sistema è costante nel tempo e corrisponde alla portata di infiltrazione nel terreno per il bacino di laminazione considerato.

Superficie scolante (S)	9943,81 m²
coef. Di deflusso (Φ)	0.95
u_lim	0,272 l/s
Portata infiltrata (Qu,lim)	111,73 l/s

a (TR=100)	69,280
a (TR=50)	62,240
n (D>1h)	0,3175
n (D<1h)	0,5

Tabella 9 Riepilogo coefficienti per determinazione dell'onda entrante (Qe) e dell'onda uscente (Qu) – bacino di laminazione IN4

Inserendo i coefficienti nelle formule riportate nei paragrafi 8.1e 8.2 è possibile tracciare l'andamento delle funzioni $W_e(D)$ e $W_u(D)$ al variare della durata della pioggia D.

DETERMINAZIONE DELL'EVENTO CRITICO CHE MASSIMIZZA IL VOLUME DI LAMINAZIONE

Nel grafico seguente sono raffigurati gli andamenti delle curve caratteristiche del volume entrante $W_e(D)$ e del volume uscente $W_u(D)$ in funzione della durata della pioggia D, considerando un tempo di ritorno di 100 anni.

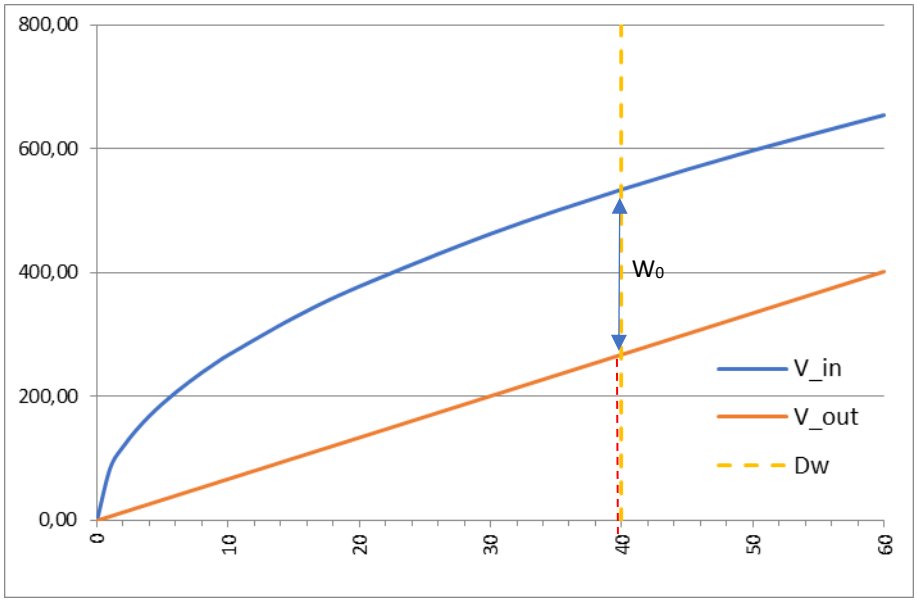


Figura 8 Determinazione dell'evento critico DW e del corrispondente volume critico W0 di laminazione – Bacino IN4

Dal grafico si ricava che la durata dell'evento critico D_W che massimizza il volume di invaso (ossia la differenza tra We e Wu; individuata tale durata, pari a 40 minuti, è possibile determinare i valori di volume entrante e uscente associati:

$W_e(D_W)$ = 533,95 mc $W_u(D_W)$ = 268,14 mc

E di conseguenza:

$$\mathbf{W_0} = W_e(D_W) - W_u(D_W) = \mathbf{265{,}80\ mc}$$

Che corrisponde al volume di laminazione di progetto del bacino d'infiltrazione.

CALCOLO DEL TEMPO DI SVUOTAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE

Il tempo di svuotamento del bacino di laminazione viene calcolato mediante il rapporto tra il volume di massimo invaso e la portata filtrante.

Nel caso dell'area IN4:

W_0 = 265,80 mc

$Q_{u,lim}$ = 111,73 l/s

Ts = 2379,1 s = **0,66 h**

Il valore del tempo di svuotamento dell'invaso di laminazione è inferiore a 48 ore e pertanto la condizione dell'art.11, comma 2, lettera f) del Regolamento Regionale n.7/2017 risulta verificata.

10.2 Bacino IN5

DETERMINAZIONE DELL'ONDA ENTRANTE Qe E DELL'ONDA USCENTE Qu

I parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per Tr pari a 50 e 100 anni, utilizzate per il calcolo del volume entrante sono:

- Tr = 50 anni: a = 62,240 mm/h n = 0,3175 (D> 1h) / 0,5 (D<1h)
- Tr = 100 anni: a = 69,280 mm/h n = 0,3175 (D> 1h) / 0,5 (D<1h)

Per la determinazione del volume uscente si considera una portata effluente dal sistema è costante nel tempo e corrisponde alla portata di infiltrazione nel terreno per il bacino di laminazione considerato.

Superficie scolante (S)	8331 m^2
coef. Di deflusso (Φ)	0,84
u_lim	0,259 l/s
Portata infiltrata (Qu,lim)	96,67 l/s

a (TR=100)	69,280
a (TR=50)	62,240
n (D>1h)	0,3175
n (D<1h)	0,5

Tabella 10 Riepilogo coefficienti per determinazione dell'onda entrante (Qe) e dell'onda uscente (Qu) – bacino di laminazione IN5

Inserendo i coefficienti nelle formule riportate nei paragrafi 8.1 e 8.2 è possibile tracciare l'andamento delle funzioni $W_e(D)$ e $W_u(D)$ al variare della durata della pioggia D.

DETERMINAZIONE DELL'EVENTO CRITICO CHE MASSIMIZZA IL VOLUME DI LAMINAZIONE

Nel grafico seguente sono raffigurati gli andamenti delle curve caratteristiche del volume entrante $W_e(D)$ e del volume uscente $W_u(D)$ in funzione della durata della pioggia D, considerando un tempo di ritorno di 100 anni.

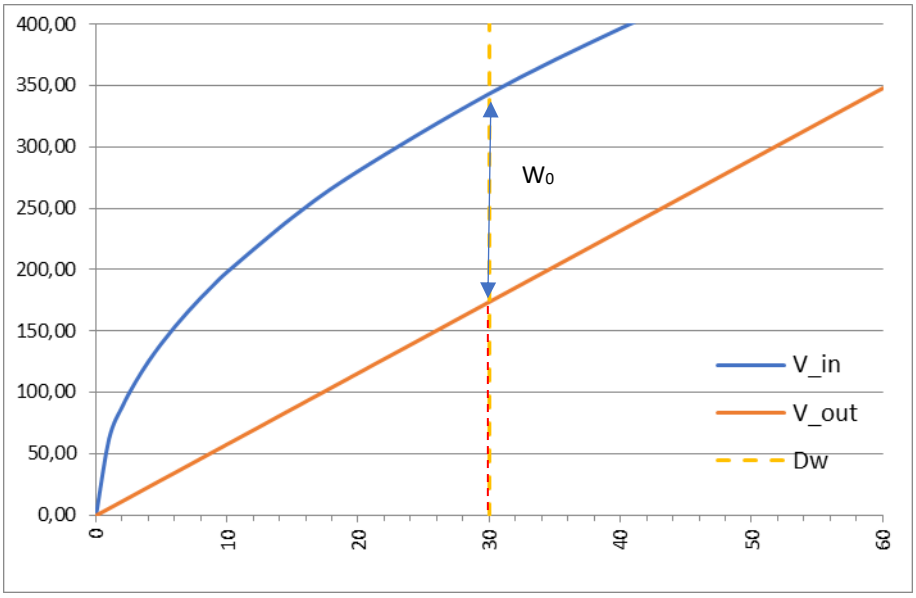


Figura 9 Determinazione dell'evento critico DW e del corrispondente volume critico W0 di laminazione – Bacino IN5

Dal grafico si ricava che la durata dell'evento critico D_W che massimizza il volume di invaso (ossia la differenza tra We e Wu; individuata tale durata, pari a 20 minuti, è possibile determinare i valori di volume entrante e uscente associati:

$W_e(D_W)$ = 343,96 mc $W_u(D_W)$ = 174,20 mc

E di conseguenza:

$\mathbf{W_0} = W_e(D_W) - W_u(D_W) =$ **169,76 mc**

Che corrisponde al volume di laminazione di progetto del bacino d'infiltrazione.

CALCOLO DEL TEMPO DI SVUOTAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE

Il tempo di svuotamento del bacino di laminazione viene calcolato mediante il rapporto tra il volume di massimo invaso e la portata filtrante.

Nel caso dell'area IN5:

W_0 = 169,76 mc

$Q_{u,lim}$ = 96,67 l/s

Ts = 1754.16 = **0,49 h**

Il valore del tempo di svuotamento dell'invaso di laminazione è inferiore a 48 ore e pertanto la condizione dell'art.11, comma 2, lettera f) del Regolamento Regionale n.7/2017 risulta verificata.

10.3 Bacino IN7

DETERMINAZIONE DELL'ONDA ENTRANTE Qe E DELL'ONDA USCENTE Qu

I parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per Tr pari a 50 e 100 anni, utilizzate per il calcolo del volume entrante sono:

- Tr = 50 anni: a = 62,240 mm/h n = 0,3175 (D> 1h) / 0,5 (D<1h)
- Tr = 100 anni: a = 69,280 mm/h n = 0,3175 (D> 1h) / 0,5 (D<1h)

Per la determinazione del volume uscente si considera una portata effluente dal sistema è costante nel tempo e corrisponde alla portata di infiltrazione nel terreno per il bacino di laminazione considerato.

Superficie scolante (S)	3395 m^2
coef. Di deflusso (Φ)	0,95
u_lim	0,274 l/s
Portata infiltrata (Qu,lim)	49,14 l/s

a (TR=100)	69,280
a (TR=50)	62,240
n (D>1h)	0,3175
n (D<1h)	0,5

Tabella 11 Riepilogo coefficienti per determinazione dell'onda entrante (Qe) e dell'onda uscente (Qu) – bacino di laminazione IN7

Inserendo i coefficienti nelle formule riportate nei paragrafi 8.1 e 8.2 è possibile tracciare l'andamento delle funzioni $W_e(D)$ e $W_u(D)$ al variare della durata della pioggia D.

DETERMINAZIONE DELL'EVENTO CRITICO CHE MASSIMIZZA IL VOLUME DI LAMINAZIONE

Nel grafico seguente sono raffigurati gli andamenti delle curve caratteristiche del volume entrante $W_e(D)$ e del volume uscente $W_u(D)$ in funzione della durata della pioggia D, considerando un tempo di ritorno di 100 anni.

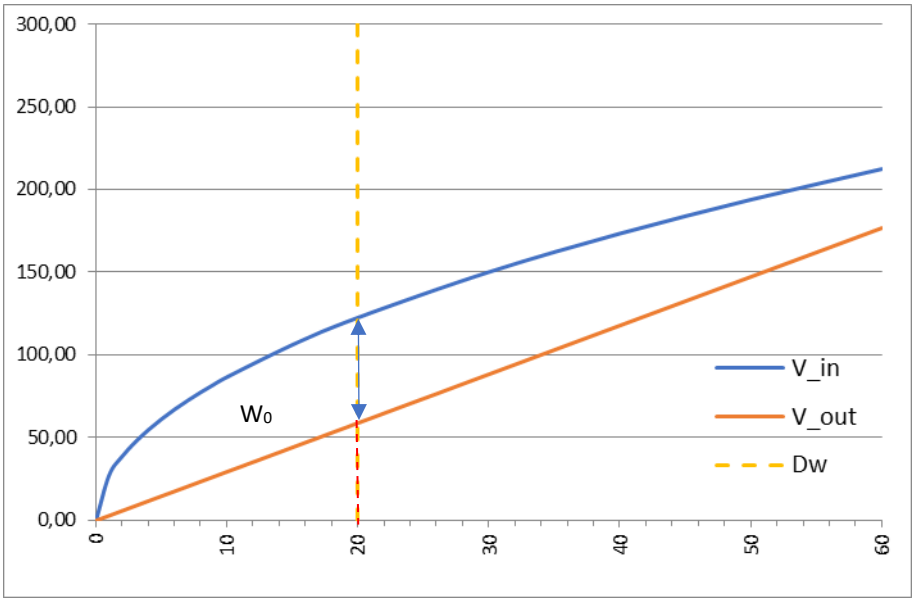


Figura 10 Determinazione dell'evanto critico Dw e del corrispondente volume critico W0 di laminazione - Bacino IN7.

Dal grafico si ricava che la durata dell'evento critico D_W che massimizza il volume di invaso (ossia la differenza tra We e Wu; individuata tale durata, pari a 20 minuti, è possibile determinare i valori di volume entrante e uscente associati:

$$W_e(D_W) = 129{,}38 \text{ mc} \qquad W_u(D_W) = 58{,}97 \text{ mc}$$

E di conseguenza:

$$\mathbf{W_0} = W_e(D_W) - W_u(D_W) = \mathbf{70{,}41 \text{ mc}}$$

Che corrisponde al <u>volume di laminazione</u> di progetto del bacino di infiltrazione.

CALCOLO DEL TEMPO DI SVUOTAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE

Il tempo di svuotamento del bacino di laminazione viene calcolato mediante il rapporto tra il volume di massimo invaso e la portata filtrante.

Nel caso dell'area IN7:

W_0 = 70,41 mc

$Q_{u,lim}$ = 49,14 l/s

Ts = 1432,9 s = **0,40 h**

Il valore del tempo di svuotamento dell'invaso di laminazione è inferiore a 48 ore e pertanto la condizione dell'art.11, comma 2, lettera f) del Regolamento Regionale n.7/2017 risulta verificata.

10.4 Bacino IN8

DETERMINAZIONE DELL'ONDA ENTRANTE Qe E DELL'ONDA USCENTE Qu

I parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per Tr pari a 50 e 100 anni, utilizzate per il calcolo del volume entrante sono:

- Tr = 50 anni: a = 62,240 mm/h n = 0,3175 (D> 1h) / 0,5 (D<1h)
- Tr = 100 anni: a = 69,280 mm/h n = 0,3175 (D> 1h) / 0,5 (D<1h)

Per la determinazione del volume uscente si considera una portata effluente dal sistema è costante nel tempo e corrisponde alla portata di infiltrazione nel terreno per il bacino di laminazione considerato.

Superficie scolante (S)	6375,5 m^2
coef. Di deflusso (Φ)	0,84
u_lim	0,255 l/s
Portata infiltrata (Qu,lim)	101,43 l/s

a (TR=100)	69,280
a (TR=50)	62,240
n (D>1h)	0,3175
n (D<1h)	0,5

Tabella 12 Riepilogo coefficienti per determinazione dell'onda entrante (Qe) e dell'onda uscente (Qu) – bacino di laminazione IN8.

Inserendo i coefficienti nelle formule riportate nei paragrafi 8.1 e 8.2 è possibile tracciare l'andamento delle funzioni $W_e(D)$ e $W_u(D)$ al variare della durata della pioggia D.

DETERMINAZIONE DELL'EVENTO CRITICO CHE MASSIMIZZA IL VOLUME DI LAMINAZIONE

Nel grafico seguente sono raffigurati gli andamenti delle curve caratteristiche del volume entrante $W_e(D)$ e del volume uscente $W_u(D)$ in funzione della durata della pioggia D, considerando un tempo di ritorno di 100 anni.

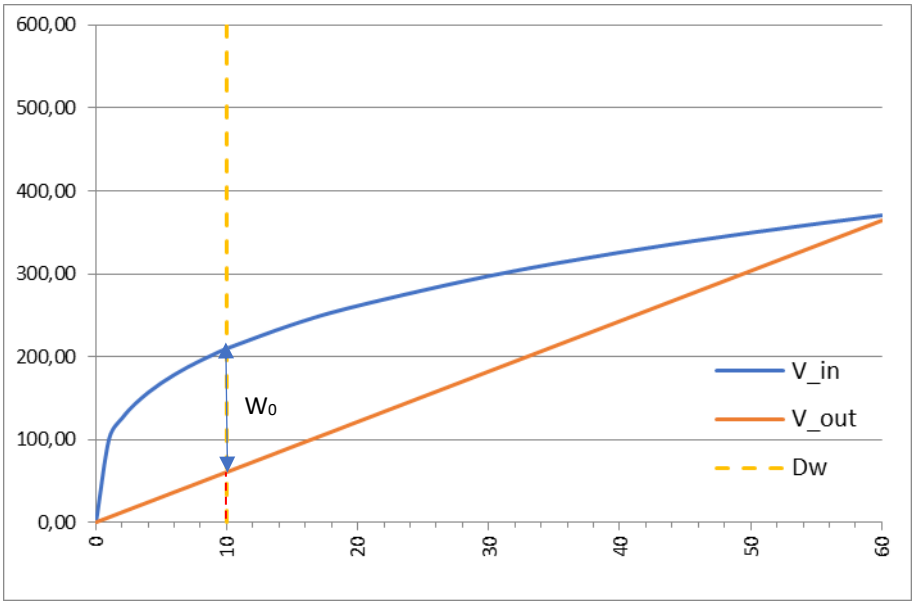


Figura 11 Determinazione dell'evento critico DW e del corrispondente volume critico W0 di laminazione – Bacino IN8.

Dal grafico si ricava che la durata dell'evento critico D_W che massimizza il volume di invaso (ossia la differenza tra We e Wu; individuata tale durata, pari a 10 minuti, è possibile determinare i valori di volume entrante e uscente associati:

$W_e(D_W)$ = 210,26 mc $W_u(D_W)$ = 60,86 mc

E di conseguenza:

$$\mathbf{W_0} = W_e(D_W) - W_u(D_W) = \mathbf{149,40\ mc}$$

Che corrisponde al volume di laminazione di progetto del bacino d'infiltrazione.

CALCOLO DEL TEMPO DI SVUOTAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE

Il tempo di svuotamento del bacino di laminazione viene calcolato mediante il rapporto tra il volume di massimo invaso e la portata filtrante.

Nel caso dell'area IN8:

W_0 = 149,40 mc

$Q_{u,lim}$ = 101,43 l/s

Ts = 1472,9 s = **0,41 h**

Il valore del tempo di svuotamento dell'invaso di laminazione è inferiore a 48 ore e pertanto la condizione dell'art.11, comma 2, lettera f) del Regolamento Regionale n.7/2017 risulta verificata.

10.5 Bacino IN9

DETERMINAZIONE DELL'ONDA ENTRANTE Qe E DELL'ONDA USCENTE Qu

I parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per Tr pari a 50 e 100 anni, utilizzate per il calcolo del volume entrante sono:

- Tr = 50 anni: a = 62,240 mm/h n = 0,3175 (D> 1h) / 0,5 (D<1h)
- Tr = 100 anni: a = 69,280 mm/h n = 0,3175 (D> 1h) / 0,5 (D<1h)

Per la determinazione del volume uscente si considera una portata effluente dal sistema è costante nel tempo e corrisponde alla portata di infiltrazione nel terreno per il bacino di laminazione considerato.

Superficie scolante (S)	11754,35 m^2
coef. Di deflusso (Φ)	0.93
u_lim	0,252 l/s
Portata infiltrata (Qu,lim)	165.34 l/s

a (TR=100)	69,280
a (TR=50)	62,240
n (D>1h)	0,3175
n (D<1h)	0,5

Tabella 13 Riepilogo coefficienti per determinazione dell'onda entrante (Qe) e dell'onda uscente (Qu) – bacino di infiltrazione Nord.

Inserendo i coefficienti nelle formule riportate nei paragrafi 8.1e 8.2 è possibile tracciare l'andamento delle funzioni $W_e(D)$ e $W_u(D)$ al variare della durata della pioggia D.

DETERMINAZIONE DELL'EVENTO CRITICO CHE MASSIMIZZA IL VOLUME DI LAMINAZIONE

Nel grafico seguente sono raffigurati gli andamenti delle curve caratteristiche del volume entrante $W_e(D)$ e del volume uscente $W_u(D)$ in funzione della durata della pioggia D, considerando un tempo di ritorno di 100 anni.

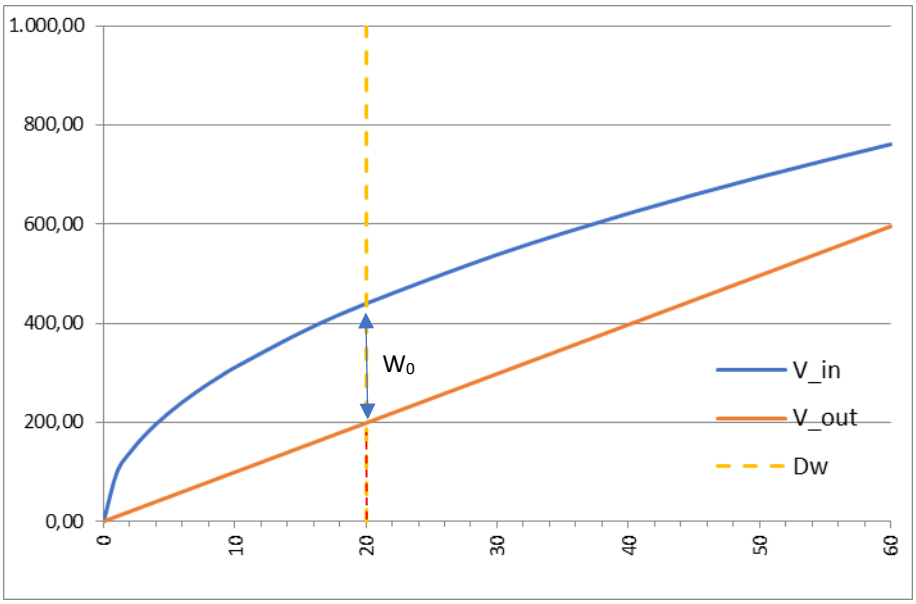


Figura 12 Determinazione dell'evento critico DW e del corrispondente volume critico W0 di laminazione – Bacino IN9.

Dal grafico si ricava che la durata dell'evento critico D_W che massimizza il volume di invaso (ossia la differenza tra We e Wu; individuata tale durata, pari a 20 minuti, è possibile determinare i valori di volume entrante e uscente associati:

$W_e(D_W)$ = 439,42 mc $W_u(D_W)$ = 198,41 mc

E di conseguenza:

$$\mathbf{W_0} = W_e(D_W) - W_u(D_W) = \mathbf{241,01\ mc}$$

Che corrisponde al volume di laminazione di progetto del bacino d'infiltrazione.

CALCOLO DEL TEMPO DI SVUOTAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE

Il tempo di svuotamento del bacino di laminazione viene calcolato mediante il rapporto tra il volume di massimo invaso e la portata filtrante.

Nel caso dell'area Nord:

W_0 = 241,01 mc

$Q_{u,lim}$ = 165.34 l/s

Ts = 1457,6 s = **0,40 h**

Il valore del tempo di svuotamento dell'invaso di laminazione è inferiore a 48 ore e pertanto la condizione dell'art.11, comma 2, lettera f) del Regolamento Regionale n.7/2017 risulta verificata.

AMBIENTE SPA

Dott. Geol. Paolo Mauri

Milano, giugno 2021

TAVOLE

ALLEGATI

ALLEGATO 1 – FOGLI DI CALCOLO PER IL DIMENSIONAMENTO DEI BACINI DI INFILTRAZIONE

ALLEGATO 2 – RISULTATI PROVE LEFRANC